PATLATMALI ISI DEĞİŞTİRİCİ KANATLARINDA PATLATMA TASARIMININ ISI TRANSFERİ VE AKIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ

Adem Aksoy
Arçelik - LG Klima San. ve Tic. AŞ.,
AR-GE Departmanı,
Gebze, Kocaeli

Arçelik - LG Air Conditioning Inc.,
R&D Department,
Gebze, Kocaeli, Turkey
Adem.Aksoy@arcelik-lg.com

ÖZET

Bu çalışmada üzerinde patlatmalar (slit) bulunan ısı değiştirici kanatlarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri yapılarak patlamalarda yapılan tasarım değişikliklerinin etkileri ısı transferi ve akış özellikleri açısından detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada önce analizler sonucunda elde edilen ısı akısı dağılımı ve hız vektörleri dağılımı incelenmiş ve yorumlanmıştır. Daha sonra tüm modeller için analizlerle hesaplanan tek bir kanatta gerçekleşen basınç kaybı ve ısı transferi değerleri özetlenmiş, bu değerler mevcut ürünlerde kullanılan bir kanadın HAD analizi sonucu ile kıyaslanmıştır. HAD analizi sonuçlarına göre yeni tasarımla mevcut kanat tasarımına göre %2.0 iyileşme sağlanmıştır. Çalışmalar kanat üzerindeki patlatma sayısı artırılırsa kanadın ısı transfer performansının minimum basınç kaybıyla artırılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, kanat, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), ısı transferi

NUMERICAL STUDY AND EVALUATION OF THE EFFECT OF SLIT DESIGN ON HEAT TRANSFER AND FLOW IN SLIT FINS

ABSTRACT

In this study, the effects of the design alterations made in slits have been examined in detail with respect to heat transfer and flow characteristics by conducting computational fluid dynamics (CFD) analyses on heat exchanger fins which have slits on. In the study, firstly the distribution of heat flux which has been achieved as a result of the analyses and the distribution of velocity vector have been examined and interpreted. Then, the pressure loss and heat transfer values that occur on a single fin that have been calculated for all models by analyses were summarized and these values have been compared to the result of CFD analysis on one fin that is used in the current products. According to the results of CFD analysis, 2.0 % improvement has been achieved with the new design when compared to the existing fin design. The studies showed that when the number of slits on the fin is increased, the heat transfer performance of the fin can be increased with minimum pressure loss.

Keywords: Slit, fin, computational fluid dynamics (CFD), heat transfer

Geliş tarihi : 30.04.2013
Kabul tarihi : 25.09.2013

Aksoy, A. 2013. "Patlatmalı Isı Değiştirici Kanatlarında Patlatma Tasarımının Isı Transferi ve Akış Üzerindeki Etkisinin Sayısal Analizi," Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 645, s. 60-76
Aksoy, A. 2013. "Numerical Study And Evaluation of the Effect of Slit Design on Heat Transfer And Flow in Slit Fins," Engineer and Machinery, vol. 54, no. 645, p.60-76.

1. GİRİŞ

İklimlendirme sistemlerinde ısı değiştirici borularının ısı transfer kabiliyetini arttırmak amacıyla kanat adı verilen genişletilmiş yüzeyler kullanılmaktadır. Bu yüzeyler üzerinde tasarlanan patlatma (slit), panjur (louver), dalgalı (corrugated) kanat yapılarıyla gerçekleştirilen ısı transferi miktarı arttırılabilmektedir. Tasarlanan geometriler akımın farklı yüzeylerle karşılaşarak yeni sınır tabakalar oluşturulmasını sağlamaktadır, böylece daha ince bir sınır tabaka kalınlığı, dolayısıyla daha yüksek bir ısı taşınım katsayısı elde edilmektedir. Bu ısı transferi iyileşmesi düz kanatlarla kıyaslandığında iki hatta üç katına kadar çıkabilmektedir [1]. Günümüzde de yoğun olarak çalışılan ısı değiştirici kanatları, literatür tarandığında ısı transferini iyileştirme yöntemleri içerisinde mikrokanallı ısı değiştiricilerin ardından en çok yayın yapılmış olan çalışma konusudur [2].

Yun ve Lee tarafından yapılan çalışma incelendiğinde patlatma tip kanatlı bir ısı değiştiricide; kanatlar arasındaki mesafe, patlatma açısı gibi parametrelerin ısı transferi ve hava sürtünmesi üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür [3]. Deneysel çalışmada, hazırlanan kanatlı ısı değiştirici modelleri test edilmiş ve benzerlik yöntemi kullanılarak parametrelerin etkileri modellerin ölçüm sonuçları üzerinden hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda ısı değiştirici performansını etkileyen parametrelerin performans üzerindeki etkileri yüzdesel olarak; kanat aralığı (%39), patlatmaların düzeni (%28), patlatma uzunluğu (%20), patlatma yüksekliği (%9) olarak belirlenmiştir.

Yang ve ark. elektronik elemanların soğutulmasında kullanılan; düz kanatlı, patlatma tip kanatlı ve panjur tip kanatlı ısı kuyularının ısı transfer performanslarını deneysel olarak incelemişlerdir [4]. Çalışmada 1.65 mm kanat aralığı için ısı transfer yüzeyi, patlatma tip kanatların kullanıldığı ısı kuyusuna kıyasla panjur tip kanatlı ısı kuyusunda %25 azalarak en düşük yüzey alanı değerine ulaşılmıştır. Buna karşılık panjur tip kanatta basınç düşümünün patlatma tip kanada göre daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Kanat aralığı 0.80 mm'ye düşürüldüğünde ise patlatma tip kanat ile panjur tip kanat arasında basınç düşümü bakımından küçük bir fark oluşmaktadır.

Bu çalışmada ise Arçelik-LG Klima ürünlerinde kullanılan patlatma tip ısı değiştirici kanadı Referans tasarım olarak seçilmiş ve patlatmaların tasarımında yapılan değişikliklerin kanattan gerçekleşen ısı transferine etkileri, bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan Fluent programı kullanılarak, kanattan gerçekleşen ısı akısı ve hava akış hızının vektörel dağılımı incelenerek tespit edilmiştir. Son olarak yeni kanat modellerinde gerçekleşen basınç düşümü değeri ve ısı transferi miktarı Referans kanat modeliyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

1. INTRODUCTION*

The enlarged surfaces that are referred to as fins are used in air conditioning systems in order to increase the heat transfer capability of heat exchanger pipes. The amount of the realized heat transfer can be increased by slit, louver and wavy fin structures which are designed on these surfaces. The designed geometries ensure formation of new boundary layers by the encountering of the flow with different surfaces, so that a thinner boundary layer, thus a higher convective heat transfer coefficient is achieved. This heat transfer improvement can duplicate or even triplicate when compared to flat fins [1]. Heat exchanger fins which are intensively studied today is a field of study that has been published the most among the heat transfer improvement methods following microchannel heat exchangers [2].

When the study conducted by Yun and Lee is examined, it has been observed that the parameters such as the distance between the fins and slit angle have a significant effect on heat transfer and air friction in a slit-type finned exchanger [3]. In this experimental study, the prepared finned heat exchanger models have been tested and the effects of the parameters have been calculated on the measurement results of the models by using analogy method. As a result of the study, the effects of the parameters that influence the performance of heat exchanger on the performance have been determined as percentage being fin distance (39%), order of slits (28%), slit length (20%) and slit height (9%).

Yang et al. have experimentally examined the heat transfer performance of flat finned, slit type finned and louver type finned heat sinks that are used in the cooling of electronic components [4]. In the study, the heat transfer surface for 1.65 mm fin distance has decreased by 25% in the louver type finned heat sink when compared to the heat sink where slit type fins are used and thus the minimum surface area value has been achieved. On the other hand, it has been stated that the pressure drop in the louver type fin was higher in comparison to the slit type fin. When the fin distance is decreased to 0.80 mm, a small difference occurs between slit type fin and louver type fin with respect to pressure drop.

In this study, on the other hand, the slit type heat exchanger fin that is used in Arçelik-LG Air Conditioners was chosen as the reference design and the effects of the changes in the design of the slits on the heat transfer that occurs through the fin have been determined by examining the distribution of velocity vectors and the heat flux that occurs through the fin by using Fluent, Computational Fluid Dynamics software. Lastly, the pressure drop value and heat transfer amount which occurs in the new fin models have been evaluated by comparing with the reference fin model.

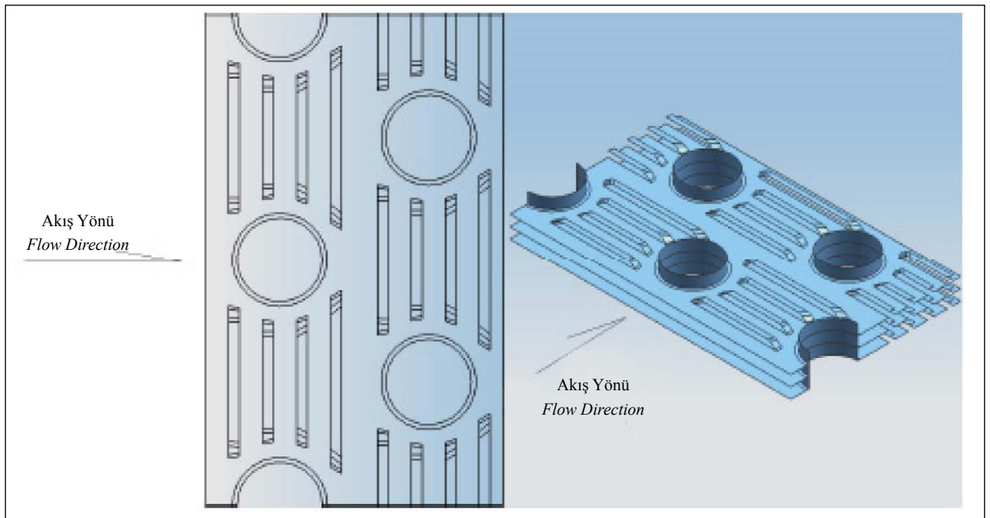
* *Makalenin İngilizcesi yazarı tarafından sağlanmıştır.*

2. MODELLEME

Kanat simülasyonunun yapılabilmesi için çözüm ağı eleman sayısının düşük tutulması gerektiği de göz önüne alınarak üç kanatın modellemesi gerçekleştirilmiş, kanatlar üzerinde yapılan değişikliklerin ortadaki kanata olan etkileri incelenmiştir. Kontrol hacmi boyutları, çözüm ağı yapısı ve sınır koşulları her model için aynı tutularak mevcut model ile yeni modeller karşılaştırılmıştır.

2.1 Kanat Modeli

Kanatların katı modeli simetri özelliği gösteren kısımlarından kesilerek boyutları küçültülmüş ve üç kanat üst üste konularak Şekil 1'de görüldüğü gibi kanat modeli hazırlanmıştır.



Şekil 1. Kanat Modeli
Figure 1. Fin Model

2.2 Kontrol Hacmi

Oluşturulan kanat modeli, akış hacmine; girişte kanat genişliğinin üçte biri, çıkışta kanat genişliği kadar boşluk olacak şekilde yerleştirilmiştir. Akış hacminin yan yüzeyleri ise o yüzeylere atanacak olan sınır şartı göz önüne alınarak kanat ile bitişik olacak şekilde tasarlanmıştır.

2.3 Çözüm Ağı

Modellerde, kontrol hacmi çözüm ağı elemanı sayısını azaltmak adına Şekil 3'te görülen hibrit çözüm ağı oluşturulmuştur. Kanatların bulunduğu kısımda geometri karmaşık olduğu için karmaşık geometrilere uygun tet/hyb isimli dörtyüzlü eleman kullanılırken, diğer kısımlarda dikdörtgenler

2. MODELLING

Modelling of the three fins has been realized by taking into consideration the necessity to keep the number of mesh elements low in order for the fin simulation to be realized, and the effects of the alterations that have been performed on the fins on the middle fin have been examined. The existing model and the new models have been compared by keeping the control volume dimensions, mesh structure and boundary conditions same for each of the models.

2.1 Fin Model

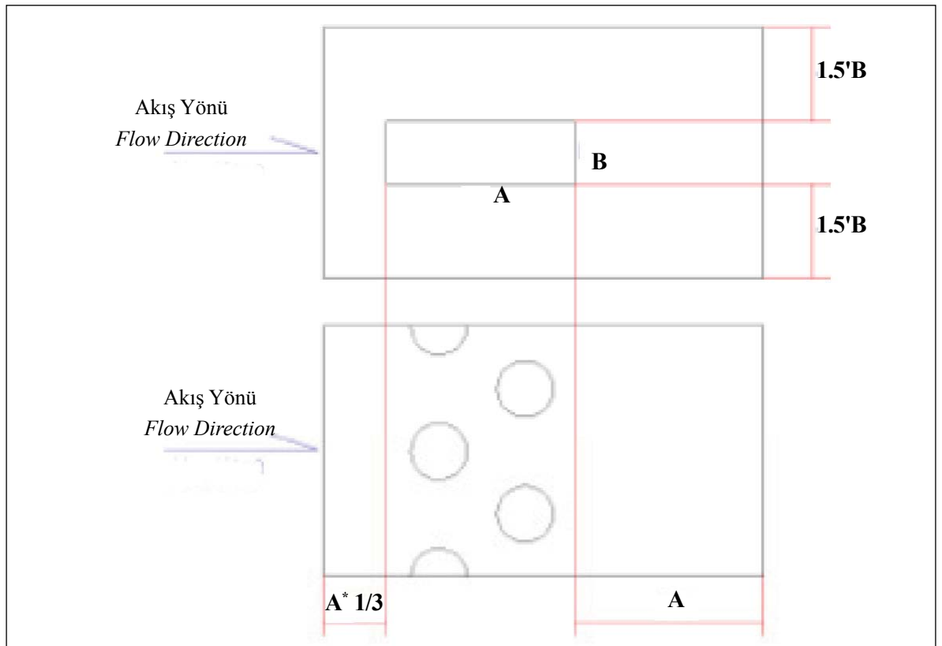
The size of the solid model of the fins has been reduced by cutting through the symmetrical parts and the fin model that is seen in Figure 1 has been prepared by placing the three fins on top of each other.

2.2 Control Volume

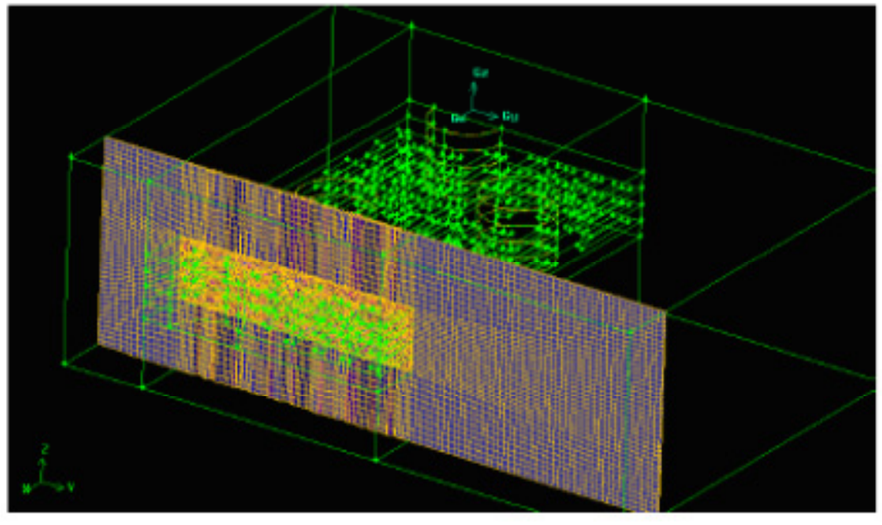
The prepared fin model has been installed in the flow volume so as to allow a space that is one third of the fin width at the inlet and a space that is as large as the fin at the outlet. The lateral surfaces of the flow volume have been designed so as to be adjacent to the fin by taking into consideration the boundary condition that is to be assigned to those surfaces.

2.3 Grid

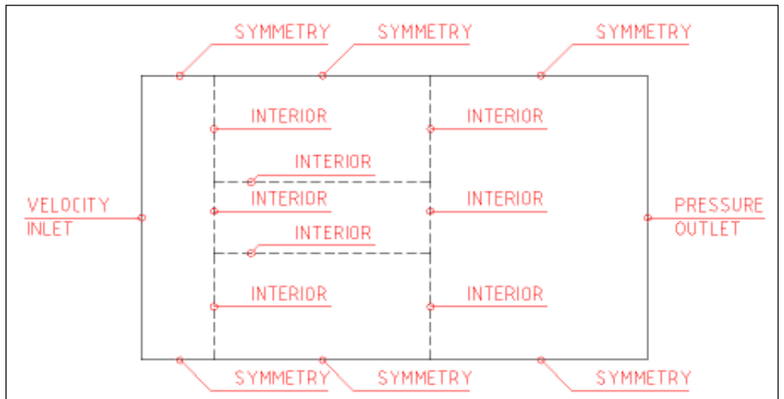
For the sake of reducing the number of control volume mesh elements, the hybrid grid that is seen in Figure 3 has been created in the models. Since the geometry of the parts where the fins are located is complicated, tetrahedral elements named tet/hyb that are compliant with complicated geometries were used



Şekil 2. Oluşturulan Kontrol Hacmi ve Kanatların Konumlandırılması
Figure 2. The Control Volume That Has Been Created and Positioning of the Fins



Şekil 3. Kontrol Hacmi ve Çözüm Ağı
Figure 3. Control Volume and Grid



Şekil 4. Kontrol Hacmi Sınır Şartları
Figure 4. Control Volume Boundary Conditions

prizması şeklindeki hex isimli düzgün yapılı elemanlar kullanılmıştır.

2.4 Sınır Şartları ve Çözücü Ayarları

Kontrol hacmi girişine "velocity_inlet", çıkışına "pressure_outlet", kanat ve boru yüzeylerine ise "wall" sınır şartı atanmıştır. Kontrol hacmini sınırlayan diğer bölgelere ise "symmetry" sınır şartı atanmıştır. Symmetry sınır şartı iterasyonun daha kolay yakınsaması da sağlanmıştır. Borulara sıcaklık değeri atanarak kanatlardaki sıcaklık dağılımının hesaplanması mümkün kılınmıştır.

Çözücü ayarlarında ise türbülans modeli olarak k-ε, hız-basınç ilişkisi için SIMPLE algoritması, ayrıklaştırma için ise "Second Order Upwind" tekniği kullanılmıştır.

3. YENİ KANAT TASARIMLARININ SAYISAL ANALİZLERİ

Hazırlanan yeni kanat modellerinde patlatma yapıları değiştirilerek, belirli bir geometrisi değiştirilmiş olan kanat modeliyle bu değişikliğe referans olan modelin HAD analizleri kıyaslanarak bu değişikliklerin etkileri ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu kıyaslamalarda kanattaki ısı akısı dağılımı ve akış hızı vektörleri incelenmiştir. Son olarak ise yeni tasarımların tümü, basınç düşümü ve ısı transferi bakımından mevcut ürünlerde kullanılmakta olan Referans kanat ile karşılaştırılarak özet sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada ifade edilmiş olan hız vektörleri ve ısı akısı dağılımlarındaki renkler Şekil 5'teki skalaya uygun şekilde oluşturulmuştur.

whereas rectangular prism shaped well proportioned elements named hex were used in the remaining parts.

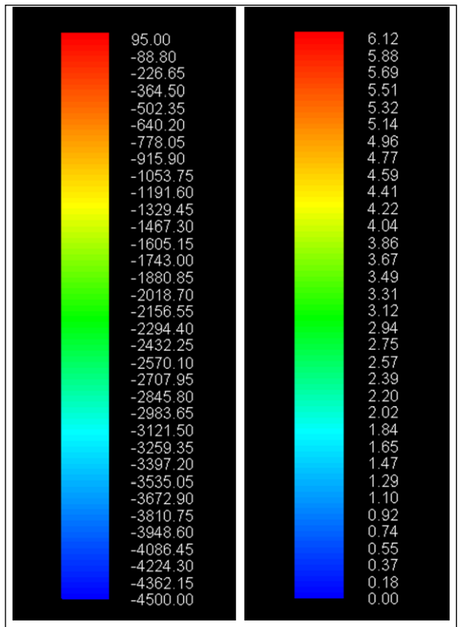
2.4 Boundary Conditions and Solver Settings

"Velocity_inlet" boundary condition has been assigned to control volume inlet, "pressure_outlet" boundary condition has been assigned to the control volume outlet, and "wall" boundary condition has been assigned to the surfaces of fins and pipes. "Symmetry" boundary condition has been assigned to the other parts which limit control volume. Symmetry boundary condition ensured easier convergence of iteration. Calculation of the temperature distribution on the fins was made possible by defining temperature values to the pipes.

As for the solver settings, k-ε was used as turbulence model, SIMPLE algorithm was used for pressure-velocity coupling and "Second Order Upwind" technique was used for discretization.

3. NUMERICAL ANALYSES OF NEW FIN DESIGNS

Slit structures in the new fin models prepared have been changed, and the effects of such changes have been determined separately by comparing the fin model whose certain geometry has been changed with the CFD analyses of the model, which has been used as reference for such change. The heat flux distribution on the fins and velocity vectors have been examined in these comparisons. Lastly, all of the new designs have been compared to the reference fin that is used in the existing products with respect to pressure drop and heat transfer to obtain the summary numerical results. The velocity vectors that have been mentioned in the study and the colors in heat flux distributions have been created in accordance with the scale in Figure 5.



Şekil 5. (a) Isı Akısı Skalası (W/m²), (b) Hız Skalası (m/s)
Figure 5. (a) Heat Flux Scale (W/m²), (b) Velocity Scale (m/s)

3.1 Ortadaki İki Patlatmanın Birleştirilmesindeki Etkiler

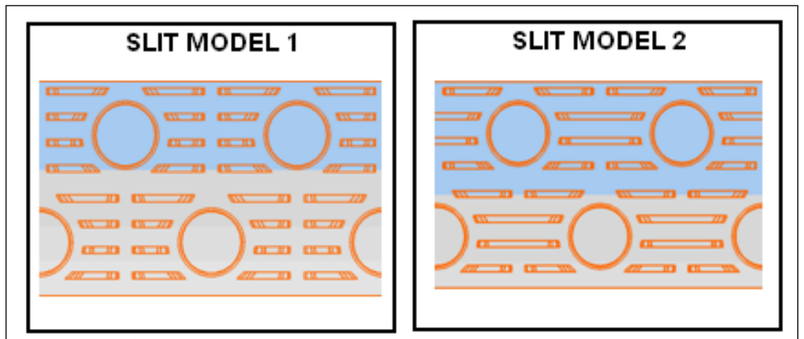
Şekil 6'da görüldüğü gibi Model 2'nin Model 1'den farkı ortadaki iki patlatmanın birleştirilmiş olmasıdır.

Sayısal değerlere baktığımızda, Model 1 Model 2'ye göre %0.78 daha yüksek ısı transferi performansı göstermiştir. Modeller basınç düşümü bakımından kıyaslandığında Model 2'nin oluşturduğu basınç kaybının 0.033 Pa daha fazla olduğu görülmektedir.

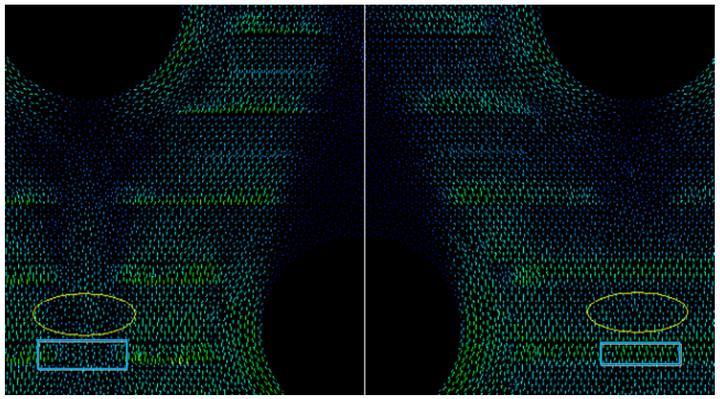
3.1 Effects of Combination of the Two Slits in the Middle

As seen in Figure 6, the difference of Model 2 from Model 1 is that the two slits in the middle have been combined.

When we look at the numerical values, Model 1 has shown a 0.78% higher heat transfer performance when compared to Model 2. When the models are compared with respect to pressure drop, it is seen that the pressure loss that is created by Model 2 is 0.033 Pa more.

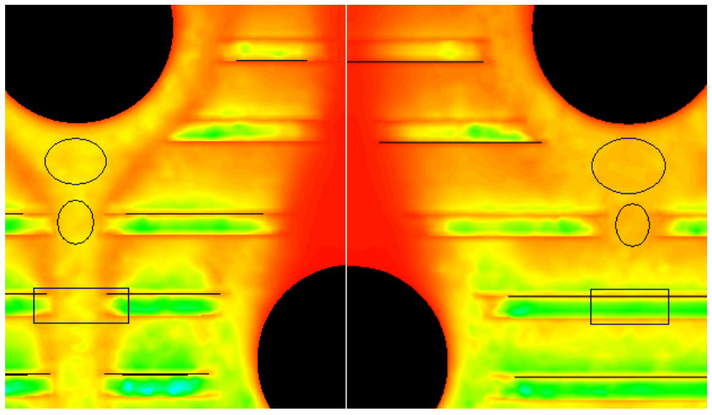


Şekil 6. Karşılaştırılan Modeller
Figure 6. Compared Models



(a) (b)

Şekil 7. (a) Model 1 ve (b) Model 2 İçin Akışın Vektörel Gösterimi
Figure 7. Vectorial Display of the Flow for (a) Model 1 and (b) Model 2



(a) (b)

Şekil 8. (a) Model 1 ve (b) Model 2 İçin Isı Akısı Dağılımı
Figure 8. Heat Flux Distribution for (a) Model 1 and (b) Model 2

Vektörler incelendiğinde, Şekil 7'de işaretli kısımlardan görüleceği gibi patlatmanın altından ve üstünden akan akım patlatma üzerinde hızlı bir akış oluşturmaktadır, bu nedenle patlatmalı yüzeylerde aynı bölgedeki patlatmasız yüzeye göre akım daha hızlı akmaktadır. Şekil 7'de işaretli kısımlarda bahsedilmiş olan etkiler görülebilmektedir.

Isı akısı dağılımı incelendiğinde, patlatma birleşiminin ısı transferini olumlu etkilediği görülmesine rağmen patlatmanın arkasında kalan kısımlarda akışın yavaşlaması çıkış tarafındaki boruların önünde ısı transfer performansını düşürmektedir. Buna karşılık patlatmaların ardından kanat yüzeyinde gerçekleşen sınır tabaka yenilenmesi ısı transferini bu bölgelerde olumlu etkilemiştir.

When the vectors are examined, as seen in the marked parts in Figure 7, the flow that runs under and above the slit creates a fast flow, therefore the flow on the slitted surfaces runs faster in comparison to the surface without slit in the same area. The mentioned effects can be seen in the marked parts in Figure 7.

When the heat flux distribution is examined, it is seen that the slit combination affects the heat transfer positively; however, the slowing of the flow in the parts behind the slit deteriorates the heat transfer performance in front of the pipes located at the outlet. On the other hand, boundary layer renewal that occurs on the surface of the fin following the slits has positively affected the heat transfer in these areas.

3.2 Bölünmüş Patlatmalar Arası Mesafenin Değiştirilmesindeki Etkiler

Şekil 9'da görüldüğü gibi Model 3'te Model 1'deki patlatmaların aralarındaki mesafe azaltılmıştır.

Sayısal değerlere baktığımızda, bu değişiklikle Model 1, Model 3'ten % 0.69 daha fazla ısı transferi ve 0.158 Pa daha fazla basınç düşümü oluşturmuştur.

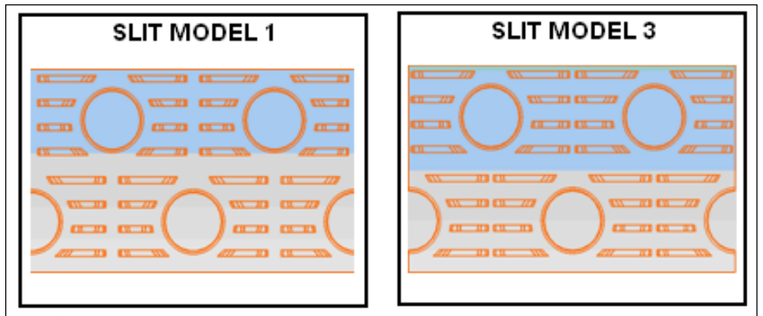
Vektörler incelendiğinde, patlatmaların belli bir mesafeden daha fazla yaklaşmasıyla patlatmaların yüzeye bağlantı kısımlarında oluşan durma noktaları akışkanın yavaşlamasına neden olmaktadır. Model 3'te patlatmaların aşırı yakınlaşması, aralarından geçecek olan akışkanın daha fazla direnç görmesine sebep olurken, Model 1'de patlatmaların yüzeyle bağlantı kısımlarında oluşan durma bölgeleri arasındaki mesafe, akışkanın hızına daha az etki ettiğinden patlatmalar arasından geçen akışkan daha az dirence maruz kalmıştır, böylece sarı alanlarda gösterildiği gibi Model 1'de akış daha hızlı olmuştur.

3.2 Effects on the Change of the Distance between the Split Slits

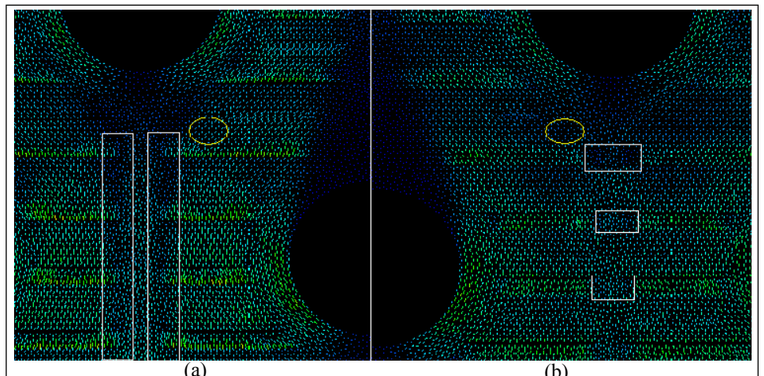
As seen in Figure 9, the distance between the slits in Model 1 has been decreased in Model 3.

When we look at the numerical values, as a result of this change, Model 1 has created a heat transfer which is 0.69% higher than Model 3 and a pressure drop which is 0.158 Pa more than Model 3.

When the vectors are examined, the stopping points that are formed in the parts where the slits are connected to the surface as a result of the slits' getting closer to each other more than a certain distance cause the fluid to slow down. While the excessive rapprochement of the slits cause the fluid, that is to run between them, to be subject to more resistance in Model 3, the fluid that runs between the slits has been exposed to less resistance in Model 1 since the distance between the stopping points that occur in the parts where the slits are connected to the surface has less influence on the velocity of the fluid, therefore, as it is shown in the yellow areas, the flow in Model 1 was faster.

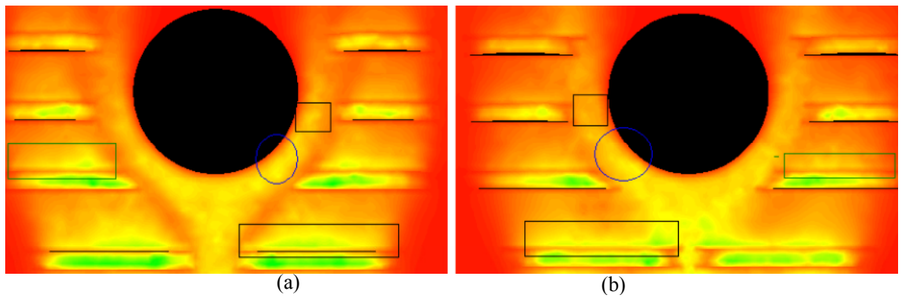


Şekil 9. Karşılaştırılan Modeller
Figure 9. Compared Models



(a) (b)

Şekil 10. (a) Model 1 ve (b) Model 3 İçin Akışın Vektörel Gösterimi
Figure 10. Vectorial Display of the Flow For (a) Model 1 and (b) Model 3



Şekil 11. (a) Model 1 ve (b) Model 3 İçin Isı Akısı Dağılımı
Figure 11. Heat Flux Distribution for (a) Model 1 and (b) Model 3

Isı akısı dağılımı incelendiğinde, vektörel incelemede ifade edilen akışa ait fiziksel olayların ısı akısı dağılımını aynı doğrultuda etkilediği görülmektedir. Akışın Model 1'de daha hızlı olması Şekil 11'de gösterilen eş işaretli kısımlardan da anlaşılacağı gibi Model 1'in ısıl performansını Model 3'ten daha yüksek kılmıştır.

3.3 Tüm Patlatmaların Bölünmesindeki Etkiler

Şekil 12'de görüldüğü gibi Model 1, Model 4'teki tüm patlatmaların orta noktalarından bölünmesiyle oluşturulmuştur.

Sayısal değerlere baktığımızda; Model 1 ve Model 4 ısıl performans bakımından eşdeğerdedirler. Modeller basınç kaybı açısından değerlendirildiğinde patlatmalarının tümü birleşik olan Model 4, Model 1'e göre 0.655 Pa daha fazla basınç kaybına neden olmuştur, dolayısıyla patlatmaların birleşmeleri basınç kaybını artırmıştır.

Vektörler incelendiğinde, patlatmaların birleştirilmelerinin akışı durdurucu etki yaptığı görülmektedir. Şekil 13'te işaretlenmiş kısımlardan görülebileceği patlatmaların arasından akan akışkanın, patlatmaların ve diğer yüzeylerin üzerindeki akışı hızlandırıcı etkisi olmaktadır. Birleşen patlatmalar, patlatmasız kanat yüzeylerindeki akışkan hızını azaltıcı etki göstermektedirler.

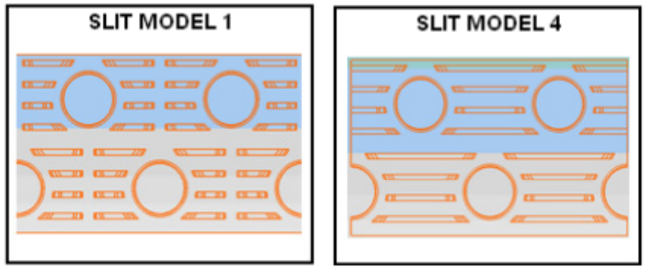
When the heat flux distribution is examined, it is seen that the physical events pertaining to the flow that is mentioned in vectorial examination effect the heat flux distribution in the same direction. The flow's being faster in Model 1 has made the thermal performance of Model 1 higher than Model 3 as it can be understood from the identically marked parts which are displayed in Figure 11.

3.3 Effects on the Partition of All Slits

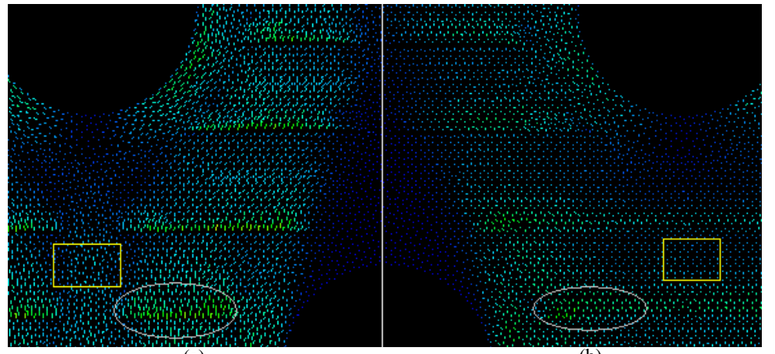
As it seen in Figure 12, Model 1 has been created by dividing all of the slits in Model 4 in their middle.

When we look at the numerical values, Model 1 and Model 4 are equivalent with respect to thermal performance. When the models are assessed in terms of pressure loss, Model 4 where all slits are combined caused 0.655 Pa more pressure loss when compared to Model 1, therefore, combination of the slits has increased the pressure loss.

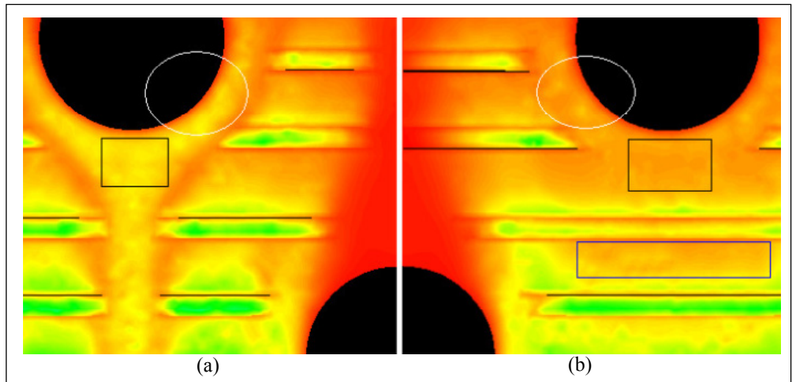
When the vectors are examined, it is seen that the combination of the slits has an effect that stops the flow. As it can be seen in the parts that are marked in Figure 13, the fluid that runs between the slits has an effect that accelerates the flow on the slits and on other surfaces. The combined slits have an effect that decreases the velocity of the fluid on the slitless fin surfaces.



Şekil 12. Karşılaştırılan Modeller
Figure 12. Compared Models



Şekil 13. (a) Model 1 ve (b) Model 4 İçin Akışın Vektörel Gösterimi
Figure 13. Heat Flux Distribution for (a) Model 1 and (b) Model 4



Şekil 14. (a) Model 1 ve (b) Model 4 İçin Isı Akısı Dağılımı
Figure 14. Heat Flux Distribution For (a) Model 1 and (b) Model 4

Isı akısı dağılımı incelendiğinde, birleşen patlatmaların arkalarında ısı akısı düşük bölgeler oluştuğu görülmektedir, bu durum vektörel analizde bahsedildiği gibi patlatmasız bölgelerdeki akışkanın yavaş hareket ediyor olmasından kaynaklanmaktadır. Birleşen patlatmalar kendilerinden sonraki bölgelerde akış hızının azalmasına neden olduğundan en düşük sıcaklık değerine sahip bölgeler olan boru çevresinde ısı transferini azaltmaktadır.

3.4 Giriş ve Çıkış Patlatmalarının Bölünmesindeki Etkiler

Şekil 15'te görüldüğü gibi Model 2, Model 4'ün giriş ve çıkış patlatmalarının bölünmesiyle oluşturulmuştur.

Sayısal değerlere bakıldığında, Model 4 Model 2'ye göre ısı transferi bakımından %0.78 daha verimlidir. İki model basınç kaybı açısından değerlendirildiğinde Model 4'te 0.622 Pa fazladan basınç düşümü oluşmaktadır, dolayısıyla bu de-

When the heat flux distribution is examined, it is seen that areas with low heat flux are formed behind the combined slits. This situation results from the slow movement of the fluid in the slitless areas as it was mentioned in vectorial analysis. Since the combined slits cause the flow velocity to decrease in the areas following themselves, they decrease the heat transfer around the pipes which are the areas with the lowest temperature value.

3.4 Effects on the Splitting of Inlet and Outlet Slits

As it is seen in Figure 15, Model 2 has been created by dividing the inlet and outlet slits of Model 4.

When we look at the numerical values, Model 4 is 0.78% more efficient compared to Model 2 with respect to heat transfer. When both models are assessed in terms of pressure loss, it is seen that 0.622 Pa more pressure loss occurs in Model 4,

ğer birleşik patlatma sayısı arttıkça basınç kaybının arttığı sonucunu göstermektedir.

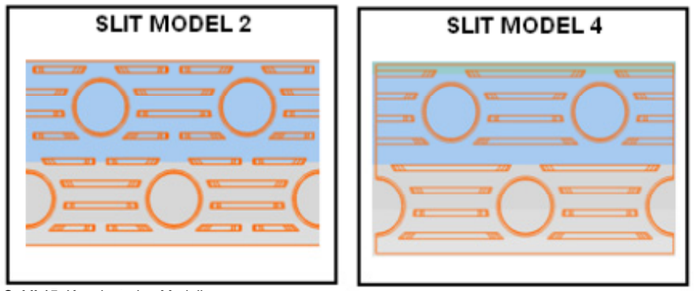
Vektörler incelendiğinde, birleşen patlatmaların arkasında kalan patlatmasız kanat yüzeyinde akışkanın hızının düştüğü ve bu kısımda yavaşlayan akışkanın boru kenarında akan akışkanı da yavaşlattığı görülmektedir. Bahsedilen etki Şekil 16'da işaretli kısımlarda görülebilmektedir.

Isı akısı dağılımı incelendiğinde, Sekil 17'de işaretli kısımlardan da görülebileceği gibi patlatmaların birleşmesi, birleşme noktalarında ısı akısını artırmıştır. Boru önünde kalan işaretli kısımları incelediğimizde ise patlatma bölünmesinin bu kısma akışkanın daha hızlı girmesini sağlayarak boru önündeki ısı akısını artırdığı görülmektedir.

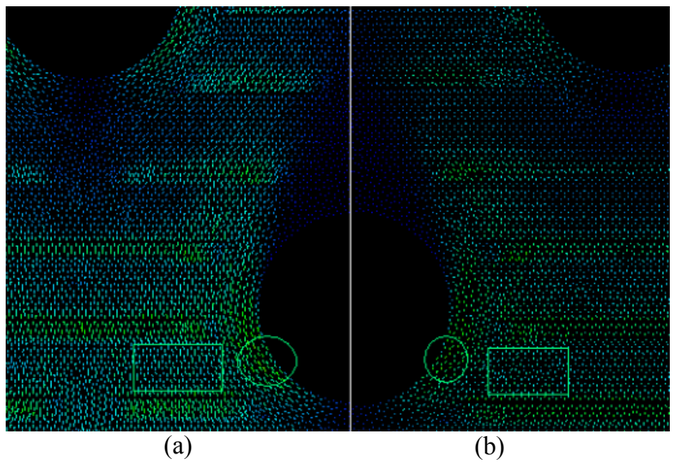
therefore, this value indicates that pressure loss increases as the number of combined slits increases.

When the vectors are examined, it is seen that the velocity of the fluid decreases on the slitless fin surface behind the combined slits and the slowing fluid in this part also slows down the fluid that runs along the side of the pipe. The said effect can be seen in the marked parts in Figure 16.

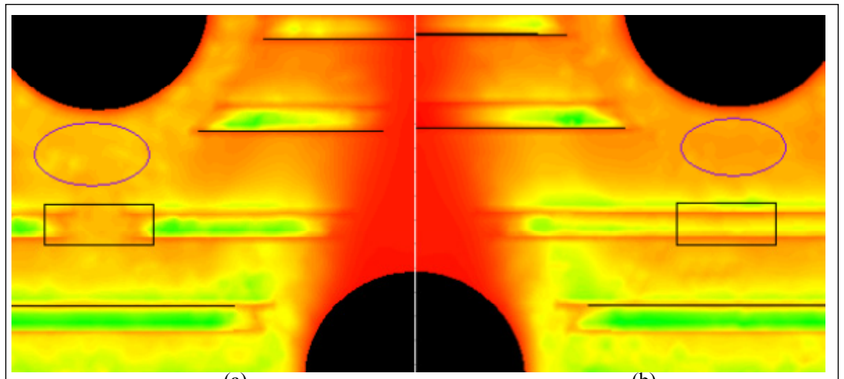
When the heat flux distribution is examined, it is obvious that the combination of slits has increased heat flux at the combining points as it can be seen in the marked parts in Figure 17. When we examine the marked parts in front of the pipe, it is seen that the slit splitting has increased the heat flux in front of the pipe by ensuring that the fluid enters in this part faster.



Şekil 15. Karşılaştırılan Modeller
Figure 15. Compared Models



Şekil 16. (a) Model 2 ve (b) Model 4 İçin Akışın Vektörel Gösterimi
Figure 16. Vectorial Display of the Flow for (a) Model 2 and (b) Model 4



Şekil 17. (a) Model 2 ve (b) Model 4 İçin Isı Akısı Kontürleri
Figure 17. Heat Flux Contours for (a) Model 2 and (b) Model 4

3.5 En Son Patlatmanın Üçe Bölünmesindeki Etkiler

Şekil 18'de görüldüğü gibi Model 5'in Model 4'ten farkı boruların arkasında kalan son patlatmaların üçe bölünmüş olmasıdır.

Sayısal değerler hesaplandığında; Model 4, Model 5'e göre %1.13 daha yüksek ısı transfer performansı göstermekte iken, 0.674 Pa daha fazla basınç kaybına neden olmuştur. Şekil 19'daki vektör incelemesinde dikdörtgenle işaretlenmiş kısımlar kıyaslandığında patlatma direncine maruz kalmamış olan akışkanın boruların kenarlarında daha rahat hareket ettiği görülebilmektedir. Bu sayede basınç düşümü değeri Model 4'e göre Model 5'te daha az olmuştur.

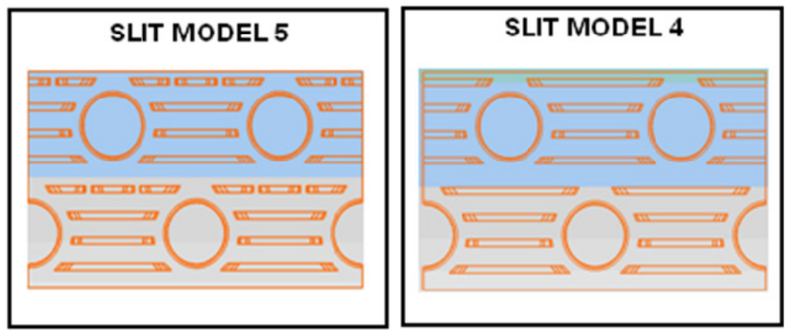
Isı akısı dağılımı incelendiğinde, sınır tabaka yenilenmesinin ısı transferini artırmada ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Eğer sadece akışkanın hızlanması yetiyor olsaydı Model 5'teki boruların dibinden akan akışkanın hızlanması

3.5 Effects on the Three-Way Splitting of the Last Slit

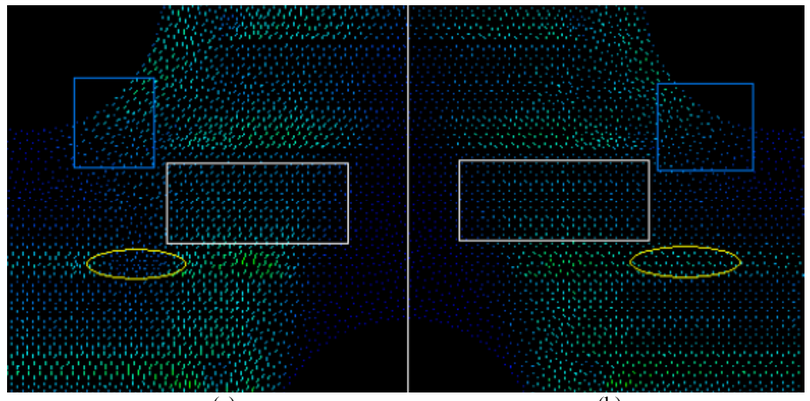
As it is seen in Figure 18, the difference of Model 5 from Model 4 is the three-way splitting of the last slits behind the pipes.

When the numerical values are calculated, it is seen that while Model 4 shows a heat transfer performance that is 1.13% higher than Model 5, it causes 0.674 Pa more pressure loss. When the parts that are marked with rectangulars in the vectorial assessment in Figure 19 are compared, it can be seen that the fluid that has not been exposed to slit resistance moves more comfortably along the sides of the pipes. Thus, the pressure drop value was lower in Model 5 when compared to Model 4.

When the heat flux distribution is examined, it is seen how important boundary layer renewal is in increasing the heat transfer. If only the acceleration of the fluid had been sufficient, the acceleration of the fluid that runs at the bottom

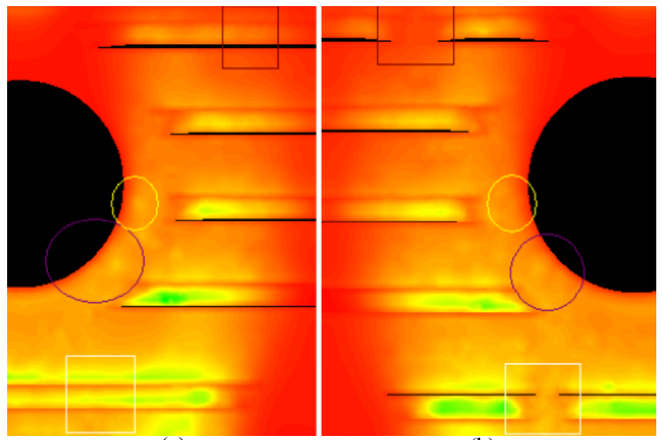


Şekil 18. Karşılaştırılan Modeller
Figure 18. Compared Models



(a) (b)

Şekil 19. (a) Model 5 ve (b) Model 4 İçin Akışın Vektörel Gösterimi
Figure 19. Vectorial Display of Flow for (a) Model 5 and (b) Model 4



(a) (b)

Şekil 20. (a) Model 4 ve (b) Model 5 İçin Isı Akısı Dağılımı
Figure 20. Heat Flux Distribution for (a) Model 4 and (b) Model 5

ısı akışını aynı bölgede daha yüksek bir değere ulaştırmalıydı, fakat Şekil 20'den de görülebileceği gibi boruların dibinde, hızın daha az olduğu Model 4'te ısı akısı daha fazla olmuştur. Bölünmüş olan, yani patlatma bulunmayan kısımdan geçen akışkan bir engelle karşılaşmadığından sınır tabaka gelişmeye devam etmiş, ısı transferine olumlu etki yapacak olan sınır tabaka yenilenmesi sağlanamamıştır. Ayrıca, birleşen patlatmalar akışkanın daha fazla kesitte patlatmayla karşılaşmasını sağlayarak ısı transferine olumlu etki yapmıştır.

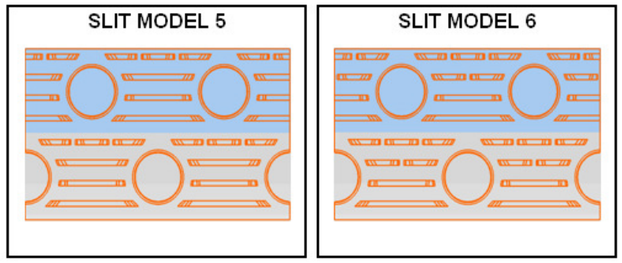
of the pipes in Model 5 should have taken the heat flux to a higher value in the same area, however, as it can be seen in Figure 20, heat flux was higher in Model 4 where the velocity is lower at the bottom of the pipes. Since the divided fluid that runs through the slitless part does not confront an obstacle, the boundary layer has continued to develop and the layer renewal that would positively affect the heat transfer could not be achieved. In addition, the combined slits had a positive influence on heat transfer by ensuring that the fluid confronts slits in more sections.

3.6 Üçüncü Patlatmanın İkiye Bölünmesindeki Etkiler

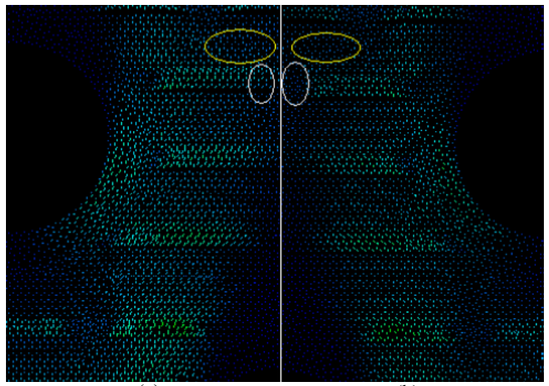
Şekil 21'de görüldüğü gibi Model 6'nın Model 5'ten farkı üçüncü patlatmalarının da ikiye bölünmüş olmasıdır.

3.6 Effects on Splitting the Third Slit into Two

At is seen in Figure 21, the difference of Model 6 from Model 5 is that the third slits also have been split into two.

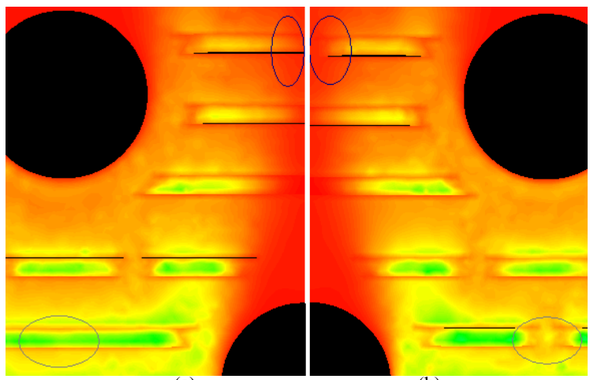


Şekil 21. Karşılaştırılan Modeller
Figure 21. Compared Models



(a) (b)

Şekil 22. (a) Model 5 ve (b) Model 6 İçin Akışın Vektörel Gösterimi
Figure 22. Vectorial Display of the Flow for (a) Model 5 and (b) Model 6



(a) (b)

Şekil 23. (a) Model 5 ve (b) Model 6 İçin Isı Akısı Dağılımı
Figure 23. Heat Flux Distribution for (a) Model 5 and (b) Model 6

Sayısal değerlere baktığımızda; Model 5, Model 6'dan %0.30 daha fazla ısı transfer etmiş ve 0.072 Pa daha fazla basınç düşümüne sebep olmuştur.

Vektörler incelendiğinde; Şekil 22'de görüldüğü gibi patlatmanın bölünmesi boru arkasındaki ölü alanı büyütmüştür, böylece ısı transferine katkı sağlamayan kanat yüzey alanı artmıştır. Patlatma oluşturulan yüzeylerde ise akışkan hareketi oluşmuş ve böylece sınır tabaka yenilenerek ısı transferini artırma imkânı doğmuştur.

Isı akısı dağılımı incelendiğinde; bölünen patlatmanın vektörel incelemeden de görüldüğü gibi akışkanın hareket etmediği bölgeyi artırması nedeniyle, bu patlatmanın çevresinde ısı akısı azalmaktadır. Bu etkiyi Şekil 23'teki işaretli kısımlardan görebilmekteyiz.

3.7 Giriş Patlatmasının Kenar Açılarındaki Değişimin Etkileri

Şekil 24'ten görüldüğü gibi Model "4' " nün tasarımında, Model 4'e göre boruların hava giriş tarafında kalan başlangıç patlatmalarının açısı genişletilmiştir.

Sayısal değerlere baktığımızda; ısı transferi açısından Model 4, Model "4' "ne göre %0.84 daha yüksek ısı transferi sağlamış ve 0.600 Pa daha fazla basınç düşüşüne neden olmuştur. Vektörler incelendiğinde Model "4' "nde havanın, boruların giriş tarafında daha rahat hareket ettiği görülmektedir. Böylece basınç düşümü daha az olmuştur. Bu durum Şekil 25'te işaretli kısımlardan görülebilmektedir.

Isı akısı dağılımı incelendiğinde, özellikle çıkış tarafındaki boruların önlerinde Model 4 için daha yüksek ısı transferi sağlandığı görülmektedir. Bunun nedeni Model 4'teki patlatmanın, havayı boruya doğru daha fazla itmesidir. Bu sayede hava, daha düşük sıcaklıkta olan boru çevresine daha fazla yönlenmektedir. Ayrıca daha dar bir açı oluştuğunda uzayan patlatma boyu ısı transferine katkı sağlamaktadır. Çıkış tarafındaki boruların ön tarafında, ısı akısı dağılımında işaretlenmiş kısımlar aynı bölgelerdeki düğümler için ısı akısı değerlerini göstermektedir.

When we look at the numerical values, Model 5 achieved 0.30% more heat transfer than Model 6 and caused 0.072 Pa more pressure drop.

When the vectors are examined, it is apparent that the splitting of the slit has enlarged the dead area behind the pipe as it is seen in Figure 22 and thus the fin surface area that does not contribute to heat transfer became larger. Fluid movement has occurred on the surfaces where slits have been formed and thus an opportunity to increase the heat transfer arose by renewing the boundary layer.

When the heat flux distribution is examined, since the splitted slit enlarges the area where the fluid does not move, heat flux around this slit decreases as it is seen in the vectorial examination. We can see this effect in the marked parts in Figure 23.

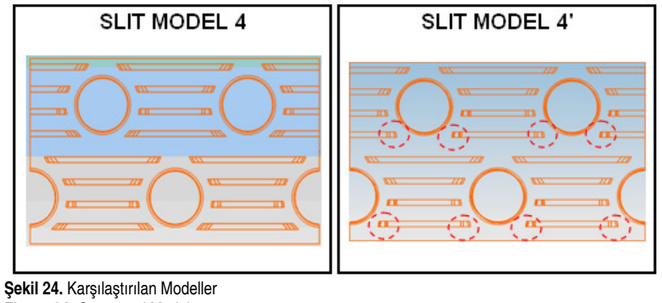
3.7 Effects of the Change in the Lateral Angles of the Inlet Slit

As it is seen in Figure 24, in the design of Model "4' ", the angle of the initial slits which are located in the air inlet part of the pipes have been widened when compared to Model 4.

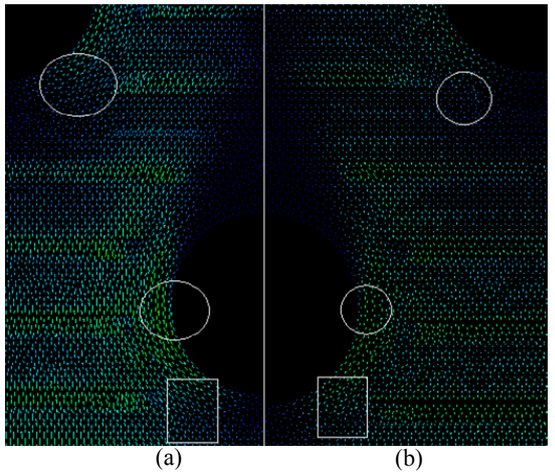
When we look at the numerical values, Model 4 has achieved 0.84% higher heat transfer and caused 0.600 Pa more pressure drop when compared to Model "4' ". When the vectors are examined, it is seen that air moves more comfortably in the inlet part of the pipes. Therefore, pressure drop was less. This situation can be seen in the marked parts in Figure 25.

When the heat flux distribution is examined, it is seen that a higher heat transfer is achieved particularly in front of the pipes for Model 4. The reason for this is that the slit in Model 4 pushes the air more towards the pipe. Thus the air is directed more to the periphery of the pipe which has lower temperature. Moreover, the slit length that lengthens when a narrow angle is formed contributes to heat transfer. The parts that are marked in heat flux distribution in front of the pipes in the outlet part show the heat flux values for the nodes in the same areas.

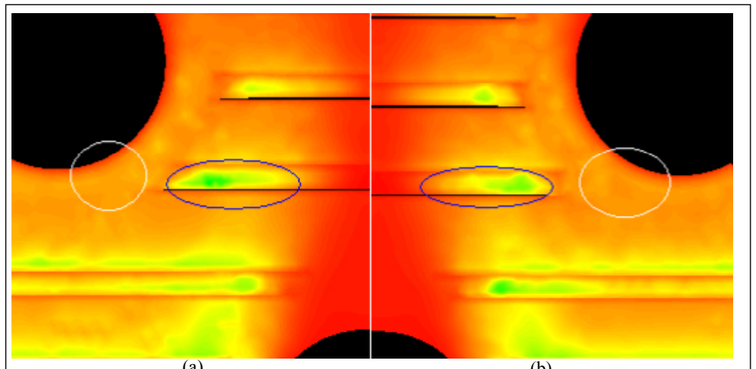
As it can be seen in the Performance summary given in Table



Şekil 24. Karşılaştırılan Modeller
Figure 24. Compared Models



Şekil 25. (a) Model 4' ve (b) Model 4 İçin Akışın Vektörel Gösterimi
Figure 25. Vectorial Dsplay of the Flow for (a) Model 4' and (b) Model 4



Şekil 26. (a) Model 4 ve (b) Model 4' İçin Isı Akısı Dağılımı
Figure 26. Heat Flux Distribution for (a) Model 4 and (b) Model 4'

Tablo 1'de ifade edilmiş olan Performans özetinden görüleceği gibi tasarlanan yeni kanat modellerinden Model 1 ve Model 4, ürünlerde kullanılmakta olan Referans kanat modeline göre boru ve kanat birlikte hesaplandığında %2.0 daha yüksek ısı transfer performansı göstermiştir. Buna karşılık Model 1'de oluşan Basınç kaybı Model 4'e göre daha küçük bir değerdir. Bu sebeple tasarlanan yeni kanat modelleri arasında en verimli model Model 1'dir. Model 1'in temel özelliği Referans modelde birleşik olan patlatmaların ikiye ayrılarak patlatma sayısının artırılmış olmasıdır.

1, Model 1 and Model 4 from the newly designed fin models showed 2.0% higher heat transfer performance when the pipe and the fin are calculated together in comparison to the Reference fin model that is used in the products. On the other hand, the Pressure loss that occurred in Model 1 is a smaller value in comparison to Model 4. For that reason, the most efficient model among the newly designed fin models is Model 1. The basic characteristic of Model 1 is that the slits which were combined in the Reference model have been split in two and thus the number of slits have been increased.

Tablo 1. Performans Özeti
Table 1. Performance Summary

	Basınç Kaybı *Pressure Loss (Pa)*	**Basınç Kaybı Artışı** *Pressure Loss Increase (Pa)*	**Toplam Isı Transferi** *Total Heat Transfer Rate (W)*	**Isı Transferi Farkı** *Heat Transfer Difference %*
Referans Model *Reference Model*	16.2	Referans *Reference*	2.029	Referans *Reference*
Model 1	17.0	0.8	2.070	2.0
Model 2	17.1	0.9	2.054	1.2
Model 3	16.9	0.7	2.056	1.3
Model 4	17.7	1.5	2.070	2.0
Model 4'	17.1	0.9	2.053	1.2
Model 5	17.0	0.8	2.047	0.9
Model 6	16.9	0.7	2.041	0.6

4. SONUÇ

Bu çalışmada üzerinde patlatmalar bulunan ısı değiştiricisi kanatlarının HAD analizleri yapılmıştır. Bu analizlerle patlatmaların tasarımında yapılan değişikliklerin etkileri incelenmiştir [5]. Çalışmalar kanat üzerindeki patlatma sayısı artırılırsa kanadın ısı transfer performansının minimum basınç kaybıyla artırılabileceğini göstermiştir. HAD analizlerine göre, üzerinde kısa patlatmalardan çok sayıda bulunan Model 1, mevcut tasarıma göre %2.0 daha fazla ısı transfer edebilmektedir. Buna karşılık 0.8 Pa değerinde küçük bir ilave basınç kaybı oluşmaktadır. %2.0 oranındaki ısı transferi artışı ise 3.51 kW gücündeki bir klima için 70 W'lık bir kapasite artışını ifade etmektedir. Bu değer bir klimanın enerji sınıfını değiştirmeye yetecek büyüklükte değildir.

4. CONCLUSION

In this study, the CFD analyses of the heat exchanger fins which have slits on them have been conducted. The effects of the alterations made in the design of the slits have been examined through these analyses. The studies have shown that when the number of slits on the fin is increased, the heat transfer performance of the fin can be increased with minimum pressure loss. According to CFD analyses, Model 1 which has many short slits on it can achieve a 2.0 % more heat transfer in comparison to the existing design. On the other hand, a small additional pressure loss value of 0.8 Pa occurs. 2.0 % increase in the heat transfer indicates a capacity increase of 70 W for an air conditioner which has 3.51 kW capacity. This value is not big enough to change the energy class of an air conditioner.

KAYNAKÇA/REFERENCES

1. **Jabardo, J. M. S., Filho, J. R. B. Z., Salamanca, A.** 2006. "Experimental Study of the Air Side Performance of Louver and Wave Fin-and-tube coils," Experimental Thermal and Fluid Science, v. 30, p. 621-631.
2. http://www.sciencedirect.com, son erişim tarihi: 2 Mayıs 2013.
3. **Yun, J., Lee, K.** 2000. "Infuence of Design Parameters on the Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of the Heat Exchanger with Slit Fins," International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 43, n. 14, p. 2529-2539.
4. **Yang, K., Chiang, C., Lin, Y., Chien, K., Wang, C.** 2007. "On the Heat Transfer Characteristics of Heat Sinks: Influence of Fin Spacing at Low Reynolds Number Region," International Journal of Heat and Mass Transfer.
5. **Aksoy, A., Ertaş, E.** 2009. Kanat Tasarımı ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çalışmaları, Arçelik-LG Klima Sanayi Araştırma Raporu.